ペーパーディスク型地下水流向流速計の水質依存性に関する研究

山口大学大学院創成科学研究科　学生会員　○水俣　勝基
山口大学大学院創成科学研究科　正会員　小野　文也
山口大学大学院創成科学研究科　正会員　山本　浩一

1. はじめに

建設業務の前段階として地下水流動調査が行われる場合があり，その中でも地下水流向流速測定は極めて重要な項目の一つである．既往の装置は現地測定の際に電源が必要であり，かつ装置が高価である．そこで安価で電源を必要としないペーパーディスク型地下水流向流速計（PDV）の開発を行っている[1)2)]．PDVは紙に印刷されたドットから溶出した染料インクが透水体内を移動する水によって輸送され，紙面上に伸びた軌跡（テーリング）が出現する現象を利用する．このテーリングを解析することで，地下水の流向・流速を測定することができる．図-1に，PDVのセンサ部分の概要図を示す．PDVによる測定は，インクジェットプリンタを用いて直径3 mmの円を印刷した画用紙の上下を透水性スポンジで挟んだものをセンサ部分とし，対象地盤内のストレーナ部分に設置して行う．しかしながら地下水質が測定にどのような影響を及ぼすのか明らかになっていない．そこで本研究では，一般的な内径52mmの観測井に対応する装置を作成し，流速測定の精度検証を行った．特に染料インクの溶出・発色に影響があると考えられるpHについて，その変動によるテーリング長への影響を評価し，補正方法を検討した．

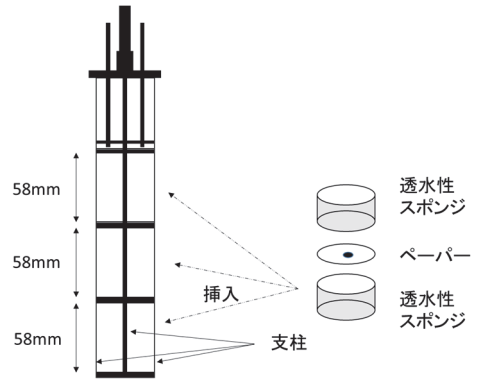

図-1　PDV のセンサ部分概要図

2. 研究方法

(1) PDV の測定手順

絶乾状態の二つのスポンジの間にペーパーディスクを挟み，方位を確認後ストレーナにセンサ部分が当たるまでゆっくり本体を挿入した． 所定の時間静置後，本体をゆっくり引き上げてスポンジとペーパーディスクを取り出した．取り出したペーパーディスクを乾燥後，スキャンして電子化し，画像解析を行った．

(2) 画像解析方法

画像解析後，取得したテーリングのフェレ径，楕円体近似した際の長径，測定前ドットからのテーリングの重心移動距離を，画像解析ソフトウェアを用いて取得した．

(3) 室内実験方法

流速とテーリング長の関係を示す検定直線を作成するため，室内実験水槽を用いて装置の検定を行った．測定時間 60 分で流速を，0.1，0.07，0.05，0.03，0.01 cm/min の 5 パターンに変化させ，各流速で 3 回測定を行った．室内実験を行った際の水槽内の pH は 7.0 であった．

(4) pH による影響試験

実験水槽内の pH を 3～11 の範囲で変化させ，2(2)と同様に PDV による測定を行った．このとき，設定ダルシー流速を 0.03cm/min，測定時間は 60 分間に固定した．

(5) 現地試験

2016 年 7 月 16～18 日に，北海道天塩郡サロベツ湿原において熱量式流速計（アレック電子 GFD-3）と PDV の比較試験を行った．地下水位と透水係数によりダルシー流速の推定も行った．

(6) pH における測定結果への補正

導出した補正係数を2(4)での PDV の測定結果に乗じ，熱量式流速計及び水位コンター計算による計算結果と比較して補正の有効性に関する検討を行った．

キーワード　地下水流向流速，水質
連絡先　〒755-0097 山口県宇部市常盤台２丁目１６－１ 山口大学創成科学研究科　ＴＥＬ　0836-85-9320

3. 研究結果

(1) 室内実験結果

図-3 に流速と取得テーリング長の関係を示す. 流速 0.1cm/min では出現したテーリングが紙面端を超えたため, 0.1cm/min の測定結果を除いて検定曲線を作成した. 3 つの指標のうち, テーリングの重心移動距離を用いて作成した検定曲線が最も高い決定係数をとった($R^2 = 0.939$).

(2) pH の変動による測定結果への影響

図-4 に pH の変動によるテーリング長の変動特性(重心移動距離)を示した. 図-4 より, 高 pH 及び低 pH 帯では, 中性域と比較してテーリングが大きく出現する傾向にあり, 補正が必要であることが示された.

(3) 各 pH におけるテーリング長補正計算

地下水の pH を x として補正関数 $f(x)$ を

$$f(x) = \frac{ax^2 + bx + c}{7^2 a + 7b + c} \tag{1}$$

と置く. 計測時間を Δt としてテーリング長を l, 検量線の傾きを $\alpha(\Delta t)$ とすると,

$$l = f(pH) \cdot \alpha(\Delta t) v \tag{2}$$

となる. よって流速 v は,

$$v = \frac{l}{f(pH) \cdot \alpha(\Delta t)} \tag{3}$$

となる.

(4) 現地試験結果及び補正計算結果

図-4 に PDV の現地試験結果及び補正計算結果を示す. 図-4 より, 補正前と比較して補正後の方が熱量式流速計及び水位コンター計算によって求められた流速に近づく結果となった.

4. 結論

一般的な内径52mmの観測井に対応するPDVを作成し流速の検定直線を作成した結果, テーリングの重心移動距離を指標として用いることで0.01~0.07cm/minの流速帯にてR^2=0.939の決定係数で流速の測定が可能であった. また帯水層中のpHによっては測定結果に補正が必要であり, 補正を適用すると現地で測定された流速は既往の装置の測定結果に近づいた.

謝辞

大起理化工業株式会社にはセンサの製作を行っていただいた. ここに記して感謝する.

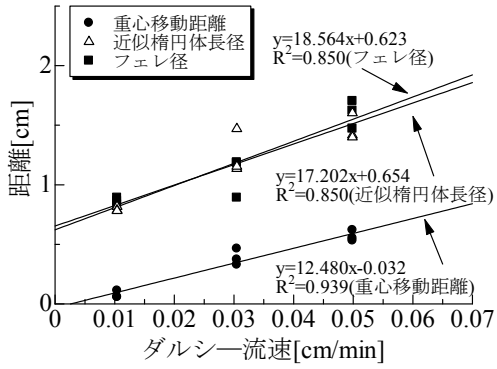

図-2 ダルシー流速とテーリングの重心移動距離, 楕円体近似長径, フェレ径の関係

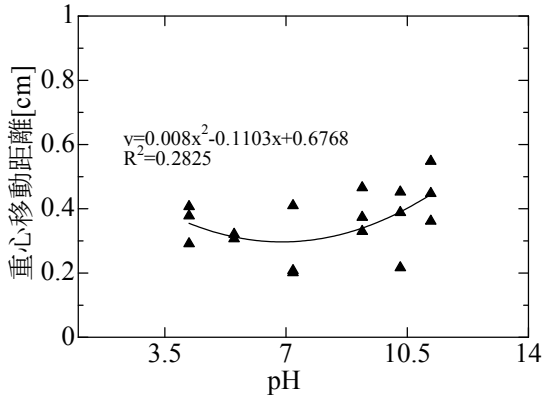

図-3 pH の変動によるテーリング長の変動特性 (測定時間 60 分, 重心移動距離)

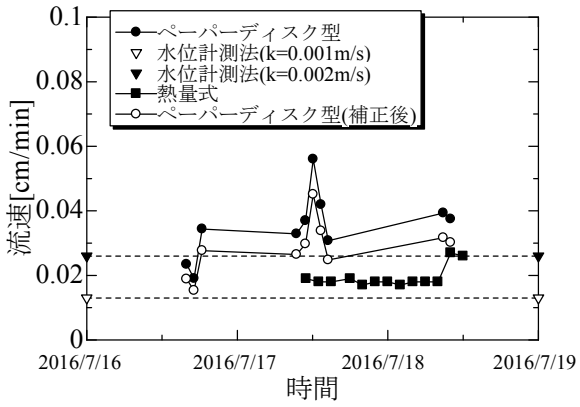

図-4 現地試験結果及び補正計算結果

参考文献

1) 野田敏雄・山本浩一, ペーパーディスク型地下水流向流速計の開発, 環境工学研究論文集vol.47, 685-690, 2010.

2) 山本浩一・小野文也・神野有生・関根雅彦(2016):単ドット式ペーパーディスク型地下水流向流速計の開発, 土木学会論文集B1(水工学) Vol.72(4),I_907-1_912,2016.